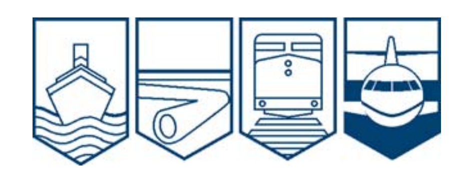
Bureau de la sécurité des transports du Canada

Transportation Safety Board of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE
A04O0103



DÉCROCHAGE LORS D'UNE APPROCHE AUX INSTRUMENTS

DU RAYTHEON B300 (SUPER KING AIR) C-GEJE
EXPLOITÉ PAR GRANT EXECUTIVE JETS INC.
À TIMMINS (ONTARIO)
LE 22 AVRIL 2004



Rapport d'enquête aéronautique

Décrochage lors d'une approche aux instruments

du Raytheon B300 (Super King Air) C-GEJE exploité par Grant Executive Jets Inc. à Timmins (Ontario) le 22 avril 2004

Rapport numéro A04O0103

Résumé

Le Raytheon B300 (Super King Air) immatriculé C-GEJE (numéro de série FL-385) exploité par Grant Executive Jets Inc. effectue un vol de mise en place entre Earlton et Timmins (Ontario) avec à son bord l'équipage de conduite et un mécanicien. Vers 6 h 50, heure avancée de l'Est, l'équipage de conduite effectue une approche à l'aide du système d'atterrissage aux instruments (ILS) vers la piste 03 de Timmins. Le pilote automatique est embrayé. Il a été utilisé pendant tout le vol.

L'avion vole dans des conditions météorologiques de vol aux instruments (IMC) lorsqu'il rencontre des conditions givrantes. Les boudins de dégivrage et les autres dispositifs antigivrage sont en marche. L'avion vole en palier à 2700 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl), près du repère d'approche finale, train sorti et volets en position d'approche. L'avion se trouve au-dessus de la trajectoire de descente et vole à une vitesse indiquée d'environ 100 noeuds alors que la vitesse d'approche normale est d'environ 125 noeuds. L'avion décroche, et le pilote aux commandes prend aussitôt des mesures correctives. Il applique la puissance maximale et abaisse le nez de l'avion pour amorcer une sortie de décrochage. Pendant le décrochage, l'avion perd environ 850 pieds d'altitude et atteint une altitude minimale d'environ 800 pieds au-dessus du sol. Après la sortie de décrochage, l'équipage fait une approche interrompue puis une autre approche ILS à une vitesse d'approche d'environ 140 noeuds. L'atterrissage se déroule sans autre incident. Après l'atterrissage, l'équipage de conduite observe la présence de un pouce à un pouce et demi de givre sur les ailettes et les déperditeurs de potentiel de l'avion ainsi qu'un peu de givre sur les fuseaux moteurs et sur le fuselage.

This report is also available in English.

Table des matières

Annexes

1.0 Renseignements de base

1.1 Déroulement du vol

L'avion décolle d'Earlton (Ontario) et monte à 10 000 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl)[1]. Le vol en croisière dure quelque 13 minutes, puis l'équipage amorce la descente en vue de l'approche vers Timmins (Ontario). À une altitude d'environ 5000 à 6000 pieds asl, l'avion entre dans les nuages où il rencontre du givre blanc léger[2]. Le reste de la descente et de l'approche, y compris le décrochage et la sortie de décrochage, se déroule dans des conditions météorologiques de vol aux instruments (IMC). Pendant la descente et l'approche, le givrage devient modéré[3]. En franchissant 4700 pieds asl en descente, l'équipage sort les volets en position d'approche. L'avion se dirige directement vers RIDIK, le repère initial du système de positionnement mondial (GPS) de l'approche ILS (système d'atterrissage aux instruments) situé à une dizaine de milles de l'aéroport de Timmins (voir l'annexe A). Le pilote automatique est en mode système de gestion de vol (FMS) et dirige l'avion vers le point de cheminement GPS sélectionné.

Pendant la descente, l'avion commence à accumuler du givre, et le commandant de bord, qui est le pilote aux commandes (PF), actionne les boudins de dégivrage des ailes et des stabilisateurs à environ quatre reprises sur une période de cinq minutes. Les boudins fonctionnent et permettent de déloger le givre sur les bords d'attaque des ailes. L'équipage de conduite ne peut déterminer si le givre se déloge des bords d'attaque des stabilisateurs, car il n'est pas possible d'observer les stabilisateurs depuis le poste de pilotage; toutefois, les voyants verts s'allument pour indiquer que les boudins se gonflent et se dégonflent. Rien n'indique la présence d'une accumulation de givre sur l'extrados des ailes, mais l'équipage note une accumulation de givre sur les fuseaux moteurs et sur de petites parties des bords d'attaque intérieurs des ailes qui ne sont pas protégées par des boudins de dégivrage.

L'avion se met en palier à 2700 pieds asl, près de RIDIK. Le pilote automatique est en mode altitude et il maintient l'altitude sélectionnée de 2700 pieds asl, et en mode FMS, dirigeant l'avion vers Sandy Falls (Ontario), le radiophare non directionnel (NDB) et point de cheminement GPS suivant. La fréquence ILS est sélectionnée et l'alignement de piste ainsi que l'alignement de descente sont utilisables, mais, comme le pilote automatique ne se trouve pas en

---

1 Voir l'annexe F pour la signification des sigles et abréviations.

2 Le paragraphe 2.4 de la section MET de la *Publication d'information aéronautique* (A.I.P. Canada) définit le givrage léger comme ceci : « Le taux d'accumulation de la glace peut causer des ennuis si le vol se poursuit dans de telles conditions (plus d'une heure) ». Le givre blanc est défini comme ceci : « glace raboteuse, opaque et laiteuse, formée par la congélation instantanée de petites gouttelettes d'eau surfondues. »

3 Le paragraphe 2.4 de la section MET de l'A.I.P. Canada définit le givrage modéré comme ceci : « Le taux d'accumulation de la glace est tel que même de courtes périodes d'exposition peuvent devenir dangereuses. On doit alors utiliser un système de dégivrage ou d'antigivrage ou encore changer de route. »

mode approche, il ne suit pas le guidage ILS. Juste avant Sandy Falls, à quatre milles du seuil de la piste 03, l'équipage commande la sortie du train d'atterrissage. L'avion n'intercepte pas l'alignement de descente, mais il demeure à 2700 pieds asl, du fait que le pilote automatique est en mode FMS. La vitesse de l'avion chute à 98 noeuds et, vers 6 h 53, heure avancée de l'Est (HAE)[4], l'avion décroche sans avertissement. Deux secondes après le décrochage, le pilote automatique se débraye. Après la sortie de décrochage et l'approche interrompue, l'équipage fait une autre approche ILS vers la piste 03 et, à 7 h 7 HAE, il atterrit sans autre incident.

1.2 Enregistreurs de bord

L'avion était équipé d'un enregistreur de données de vol (FDR) F1000 fabriqué par L3 Communications. Le FDR a été acheminé au Laboratoire technique du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) pour dépouillement et analyse.

L'annexe B présente les courbes FDR correspondant au décrochage. Le FDR révèle que l'avion a volé en palier à 2700 pieds asl pendant environ deux minutes avant de décrocher. Après la mise en palier, la vitesse a diminué lentement jusqu'à environ 135 noeuds, puis elle est demeurée relativement constante dans les 30 secondes qui ont suivi. L'équipage a réduit la puissance, et le couple a diminué; il est passé de 48 % à 20 %, ce qui a rapidement fait chuter la vitesse à 98 noeuds dans les 14 secondes qui ont suivi. L'équipage a augmenté la puissance, et le couple a augmenté à environ 54 %. L'avion a alors amorcé un mouvement de roulis vers la gauche à un taux d'environ 5° par seconde. La vitesse est demeurée à 98 noeuds pendant plusieurs secondes, pendant que le taux de roulis augmentait à 15° par seconde et que la position de la commande de tangage[5] augmentait à 20° avant le décrochage. Le pilote automatique est demeuré embrayé jusqu'au décrochage de l'avion.

Pendant le décrochage, l'avion a effectué un mouvement de roulis vers la gauche, s'est incliné à 85° et s'est mis en piqué à 39° pendant une descente avec un facteur de charge de 0,25 g. L'équipage a appliqué la puissance maximale et, comme la vitesse augmentait rapidement au-dessus de 125 noeuds, l'équipage a amorcé une ressource avec un facteur de charge de 2,4 g. Le pilote aux commandes a cessé momentanément de tirer sur le manche lorsque l'avion s'est trouvé dans un piqué à 30°, ce qui a permis à l'avion d'accélérer jusqu'à 150 noeuds avant de continuer la ressource avec un facteur de charge de 2,7 g. Lorsque l'avion s'est trouvé en palier, le pilote aux commandes a cessé momentanément de tirer sur le manche avant d'amorcer une ressource avec un facteur de charge de 1,5 à 2 g, ce qui a permis à l'avion d'adopter une assiette

---

4 Les heures sont exprimées en heure avancée de l'Est (temps universel coordonné moins quatre heures).

5 C'est la position du manche qui détermine le braquage de la gouverne de profondeur. Même si l'angle enregistré est déterminé à partir de la position du manche, il correspond au braquage de la gouverne de profondeur.

en cabré de 30°. Le facteur de charge maximal permis avec les volets sortis est de 2 g. L'équipage a maintenu une assiette en cabré de 30° momentanément avant de retrouver une assiette de montée normale comprise entre 10 et 15°.

1.3 Renseignements météorologiques

Avant le décollage d'Earlton, l'équipage de conduite a vérifié les conditions météorologiques en route et à destination. Ni les prévisions de zone sous forme graphique ni les prévisions d'aérodrome (TAF) ne faisaient état de givrage pour Timmins. Les messages d'observation météorologiques régulières pour l'aviation (METAR) en vigueur pour Timmins et les aéroports à proximité ne signalaient aucune précipitation verglaçante ni aucune condition givrante. Aucun rapport météo de pilote (PIREP) n'avait été émis faisant état de conditions givrantes.

Les prévisions de zone sous forme graphique concernant le givrage, la turbulence et le point de congélation, publiées à 1 h 42 et valides pour 2 h et 8 h le 22 avril 2004, faisaient état d'un point de congélation allant de la surface du sol jusqu'à 5000 pieds. Ce qui indique qu'il était possible que l'air chaud en altitude se mélange à l'air qui se trouvait à des températures inférieures au point de congélation à la surface du sol (comme le mentionnaient les METAR) et provoque des conditions givrantes en vol. L'annexe C présente des renseignements météorologiques additionnels.

1.4 Renseignements sur la compagnie aérienne

Grant Executive Jets Inc. est titulaire d'un certificat d'exploitation aérienne qui l'autorise à exploiter trois avions : deux Falcon et un Raytheon B300 Super King Air (également appelé King Air 350). Au moment de l'incident, la compagnie venait d'acquérir le King Air qui était exploité en vertu de la sous-partie 604 du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC) avec un certificat d'exploitation privée délivré par l'Association canadienne de l'aviation d'affaires. Grant Executive Jets Inc. avait l'intention d'exploiter le King Air en vertu de la sous-partie 704 du RAC et avait fait une demande pour ajouter le King Air à son certificat d'exploitation aérienne comme avion visé par la sous-partie 704. Le 24 juin 2004, du fait que la compagnie n'avait pas de commandant de bord qualifié à son service pour diriger l'entraînement en ligne comme l'exigeait la sous-partie 704 du RAC, l'avion avait été placé sur le certificat d'exploitation aérienne en vertu de la sous-partie 703 du RAC.

1.5 Renseignements sur le personnel

Le commandant de bord était titulaire d'une licence de pilote de ligne valide. Il possédait les licences et les qualifications nécessaires au vol et en vertu de la réglementation en vigueur. Il totalisait 3500 heures de vol sur multimoteurs, dont 60 sur le King Air 350. Le 15 décembre 2003, il avait terminé un cours sur la contamination des surfaces et le givrage en vol. Le 16 janvier 2004, il avait terminé le cours initial de pilotage sur BE-300 (King Air 350) à la Flight

Safety International (FSI); ce cours comportait 28,5 heures sur simulateur, dont 14,5 heures comme pilote non aux commandes (PNF). Le programme de formation au sol d'une durée de 38 heures comportait une formation en gestion des ressources de l'équipage (CRM). Le 31 mars 2004, le commandant de bord avait également terminé le cours donné à la FSI sur les différences que présente le BE-300 Collins Proline[6], dont 4 heures sur simulateur.

Le copilote était également titulaire d'une licence de pilote de ligne valide. Il possédait les licences et les qualifications nécessaires au vol et en vertu de la réglementation en vigueur. Il totalisait presque 400 heures de vol sur type, mais il n'avait pas piloté le BE-300 depuis environ trois ans. Le 14 avril 2004, il avait terminé le cours initial de pilotage sur BE-350 Proline à la FSI, dont 14,3 heures sur simulateur, toutes en qualité de PF. Il avait également reçu une formation CRM limitée dans le cadre du programme de formation au sol à la FSI. Le 15 avril 2004, il avait terminé un cours sur la contamination des surfaces et le givrage en vol. Le vol de l'incident était son premier vol à bord du C-GEJE depuis la fin de sa formation à la FSI.

1.6 Préparation de l'équipage de conduite et mesures prises

L'équipage de conduite a suivi les pratiques normales de la compagnie pour faire sa préparation de vol pour le vol à destination de Timmins. Les conditions prévues étaient des conditions IMC, mais le plafond et la visibilité n'étaient pas censés poser de problème ni retarder l'atterrissage à Timmins. Le commandant de bord a fait l'exposé d'approche conformément aux procédures d'utilisation normalisées (SOP)[7], mais il n'a pas abordé la question de la vitesse minimale dans des conditions de givrage, ni l'utilisation du pilote automatique et des volets dans des conditions de givrage ni la marche à suivre en cas de givrage fort. Il avait prévu effectuer l'approche à la vitesse d'approche normale de 125 noeuds. L'article 5.4 du chapitre 5 des SOP décrit en détail l'exposé qui doit être fait avant chaque approche. L'équipage doit utiliser le format AMORTS[8] couramment utilisé, comme guide pour l'exposé. Sous Remarques supplémentaires, les SOP énumèrent plusieurs éléments, notamment les procédures de protection contre le givre et toute considération spéciale ou autres remarques pertinentes.

---

6 Proline fait référence à l'avionique du poste de pilotage à écrans cathodiques du C-GEJE et d'autres BE-300 et BE-350.

7 SOP du King Air 350 de Grant Executive Jets Inc. en date du 4 janvier 2004.

8 AMORTS : Approche, minima, remise des gaz, radios, chronométrage, vitesses et remarques supplémentaires.

Pendant la descente et l'approche, l'équipage de conduite n'a jamais estimé que l'avion volait dans des conditions de givrage fort[9]; il a cependant décrit les conditions de givrage qui prévalaient comme celles d'un givrage transparent et d'un givrage blanc combinés[10] modérés. L'équipage a noté une accumulation anormale de givre sur certaines parties des fuseaux moteurs et, vers l'approche finale, le givrage était presque fort.

1.7 Renseignements sur l'aéronef

1.7.1 Généralités

L'avion était certifié, équipé et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées. La masse et le centrage se trouvaient dans les limites prescrites, et l'avion était certifié pour voler dans des conditions de givrage connues. Lors de l'installation de l'équipement de protection contre le givrage conformément à la liste d'équipement, la conformité en matière de protection contre le givrage avait été démontrée conformément au paragraphe 23.1419 des *Federal Aviation Regulations* (FAR).

1.7.2 Systèmes de protection contre le givrage de l'aéronef

L'avion est équipé d'un dispositif électrique de réchauffage pare-brise, d'un système électrique de dégivrage des hélices et d'un système pneumatique de dégivrage des surfaces qui déloge les accumulations de givre des bords d'attaque des ailes et des stabilisateurs en gonflant et en dégonflant les boudins de dégivrage. Tous les systèmes de protection contre le givrage étaient utilisables et ont fonctionné comme prévu. Sur le tableau secondaire droit du pilote se trouve un sélecteur à trois positions comportant une affichette sur laquelle on peut lire *Surface Deice - Single - Off - Manual*. Ce sélecteur sert à commander le fonctionnement du système pneumatique de dégivrage des surfaces. Le commandant de bord utilisait ce système en mode *Single*, qui, lorsqu'il est sélectionné, ouvre une soupape de distribution pour gonfler les

---

9 Le paragraphe 2.4 de la section MET de l'A.I.P. Canada définit le givrage fort comme ceci : « Le taux d'accumulation de la glace est tel que les systèmes de dégivrage ou d'antigivrage ne parviennent pas à réduire ou à maîtriser le danger. Il faut immédiatement changer de route. »

10 Le paragraphe 2.4 de la section MET de l'A.I.P. Canada définit le givre transparent comme ceci : « Glace vitreuse, claire ou translucide, formée par la congélation relativement lente de grosses gouttelettes d'eau surfondues. » L'A.I.P. Canada ne définit pas le givre transparent et givre blanc combinés, mais la Circulaire d'information de l'Aviation commerciale et d'affaires n° 0130R de Transports Canada intitulée « Document de référence concernant les opérations dans des conditions de givrage en vol », en date du 15 juin 1999, donne la définition suivante : « Un mélange de givre blanc et de givre transparent comme l'indique l'expression. Il possède les caractéristiques des deux et peut se former rapidement, et vu que certaines particules sont noyées dans du givre blanc, la formation qui s'étale peut être très raboteuse. »

boudins des ailes. Au bout de six secondes environ, les boudins de dégivrage des ailes se dégonflent et ceux des stabilisateurs se gonflent pendant quatre secondes, puis ils se dégonflent, mettant fin au cycle.

1.7.3 Avertisseur de décrochage

L'avertisseur de décrochage du King Air 350 utilise des renseignements provenant de la girouette du détecteur d'angle d'attaque se trouvant sur le bord d'attaque de l'aile gauche. Cette girouette réagit à la modification du coefficient de portance des ailes en fonction d'une variation de l'angle d'attaque et elle transmet un signal de sortie au calculateur de portance. Ce dernier traite les signaux qu'il reçoit du détecteur d'angle d'attaque, du sélecteur de volets, du contacteur d'interdiction de rentrée du train au sol et du sélecteur d'essais dans le poste de pilotage. Lorsque les ailes ne sont pas contaminées par une accumulation de givre, le dispositif fournit un avertissement sonore lorsque des coefficients de portance spécifiques sont atteints. Ce dispositif n'est pas conçu pour tenir compte de la dégradation aérodynamique due à une accumulation de givre ni pour régler son avertissement de façon à compenser la réduction de la marge de décrochage provoquée par l'accumulation de givre. Au cours d'essais de certification au moyen de givre artificiel, il a été établi que l'avion avait démontré un tremblement suffisant annonçant l'approche du décrochage. La protection contre le givrage du détecteur d'angle d'attaque est assurée par des éléments chauffants à l'intérieur de la girouette et de la plaque de montage. Une vérification après le vol de l'incident a révélé que l'avertisseur de décrochage était en bon état de fonctionnement.

La section 5 du manuel de vol de l'avion[11] de l'avionneur consacrée aux performances mentionne qu'à la masse maximale, avec les volets en position d'approche et au ralenti de vol, la vitesse de décrochage est de 88 noeuds. On a estimé qu'au moment de l'incident, la masse de l'avion était de 13 000 livres, soit environ 2000 livres de moins que la masse brute maximale. À cette masse, avec les volets en position d'approche et au ralenti de vol, la vitesse de décrochage calculée figurant dans le manuel de vol est de 84 noeuds. En raison de la déformation du profil des ailes, l'accumulation de givre provoque une augmentation des vitesses de décrochage. Une remarque accompagnant les tableaux de vitesses de décrochage dans le manuel de vol indique que les vitesses de décrochage peuvent augmenter de 9 noeuds en présence d'une accumulation de givre. Lorsque l'avion est couvert de givre, il se peut que les dispositifs avertisseurs de décrochage ne soient pas précis; par conséquent, on ne peut se fier à ces dispositifs en présence de givre sur l'avion.

---

[11] Manuel d'utilisation du Raytheon Aircraft Beech Super King Air 350 et 350C (modèles B300 et B300C) et manuel de vol de l'avion approuvé par la Federal Aviation Administration (FAA).

1.7.4 Vol dans des conditions givrantes

En présence d'une accumulation de givre sur l'aéronef, il faut conserver une marge de sécurité confortable au-dessus de la vitesse normale de décrochage. La section 2 du manuel de vol décrit les limites en cas de givrage. Elle mentionne que la vitesse minimale pour assurer la sustentation de l'appareil dans des conditions givrantes est de 140 noeuds. La section 2 décrit également les limites à respecter dans des conditions de givrage fort. La consigne de navigabilité AD 98-04-24[12] intitulée *Operating in Severe Icing Conditions* (vol dans des conditions de givrage fort) exigeait qu'un texte spécifique soit intégré au manuel de vol. Les détails de ce texte figurent à l'annexe D.

1.8 Formation de l'équipage de conduite

1.8.1 Formation sur simulateur

L'équipage de conduite a reçu une formation sur simulateur à la FSI qui comprenait des exercices de décrochage pour apprendre à reconnaître les symptômes du décrochage et à faire une sortie de décrochage au premier signe de décrochage. L'équipage de conduite a également reçu une formation à la FSI sur le givrage en vol consistant en une formation limitée sur simulateur dans des conditions de givrage lors d'une séquence normale de décollage.

1.8.2 Formation en gestion des ressources de l'équipage

La formation CRM est obligatoire pour les exploitants aériens assujettis à la norme 725[13] (Exploitation d'une entreprise de transport aérien) de la partie VII du RAC, mais elle ne l'est pas pour ceux assujettis à la norme 724 (Exploitation d'un service aérien de navette). L'exploitation d'un service aérien de navette nécessite souvent l'utilisation d'un équipage de conduite composé de deux personnes. Grant Executive Jets Inc. utilise un concept d'équipage pour assurer l'exploitation du Raytheon B300, et ce, même si l'avion est certifié pour être piloté par un seul pilote.

1.8.3 Formation sur les tâches de pilote non aux commandes

À la FSI, ni le programme de formation au sol ni les séances sur simulateur qui font partie du cours initial de pilotage ne portent sur les rôles et responsabilités du PNF. Habituellement, les élèves reçoivent du temps en boni lorsqu'ils occupent la place droite du simulateur pour agir

---

12 Consigne de navigabilité AD 98-04-24, *Operating in Severe Icing Conditions*, de la FAA des États-Unis s'appliquant à divers modèles de la Raytheon Aircraft Company, notamment aux avions B300, en vigueur depuis le 13 mars 1998.

13 Paragraphe 725.124 (39) de la norme 725 de la Partie VII (Services aériens commerciaux) du RAC.

comme PNF pour les autres élèves. Lorsque le copilote avait suivi le cours initial de pilotage sur BE-350 Proline, il n'avait pas pu agir comme PNF pendant sa formation sur simulateur, car il était le seul élève à suivre le cours. Lors du vol de l'incident, qui était son premier vol à bord de l'avion, c'était la première fois qu'il agissait comme PNF sur BE-350. Il connaissait bien les tâches de PNF, mais il n'avait jamais eu l'occasion de s'acquitter de ces tâches. Les SOP de la compagnie traite largement des tâches du PNF. Le chapitre 5 fournit des consignes détaillées sur la phase d'arrivée du vol ainsi que sur les tâches particulières du PF et du PNF. Par exemple, la section 5.4 portant sur l'exposé d'approche, stipule :

> [Traduction]
> Au cours de l'exécution de l'approche, l'équipage de conduite doit comparer la procédure exécutée à celle mentionnée lors de l'exposé. Si le PNF remarque un écart, il doit en faire part au PF.

La section 5.10 portant sur les généralités relatives à l'approche renferme des directives spécifiques concernant les annonces pendant une approche normale et elle décrit de façon claire les responsabilités du PNF et du PF. Par exemple, pour réduire les probabilités de dépassement de route ou de la trajectoire verticale désirée pendant la phase d'approche intermédiaire ou finale, on demande au PNF d'aviser le PF à l'approche de la route ou de l'alignement de descente.

1.9 Directives d'orientation en matière de réglementation

1.9.1 Caractéristiques de décrochage de l'aéronef

L'article 523.207, Avertissement de décrochage, de la Partie V, Normes de navigabilité, du RAC s'appliquant aux avions de la catégorie Navette stipule que « il doit y avoir un avertissement de décrochage clair et distinct avec les volets et le train d'atterrissage dans une position normale quelconque, en vol rectiligne et en virages. » L'avertissement doit être fourni suffisamment tôt au pilote pour qu'il puisse prévenir tout décrochage intempestif. La circulaire consultative au Manuel de navigabilité (AMA) 523/4A, en date du 29 octobre 1999, comporte de la documentation d'orientation sur les moyens acceptables de démontrer la conformité aux exigences relatives aux caractéristiques de vol mentionnées au chapitre 523 concernant l'approbation des avions de la catégorie Navette pour le vol dans des conditions de givrage. Cette AMA stipule que « cette circulaire consultative fait actuellement l'objet d'un processus d'harmonisation internationale, et la présente AMA servira pendant les programmes d'homologation de type. Une fois l'harmonisation terminée, la présente AMA sera modifiée ou abrogée et les parties harmonisées correspondantes de cette circulaire seront adoptées. » La rubrique Procédures de cette AMA mentionne les conditions à respecter pour qu'il y ait homologation du vol dans des conditions givrantes :

caractéristiques de vol avec des accumulations de glace correspondant à 45 minutes dans des conditions prévues à l'appendice C du chapitre 525 (3 pouces au maximum) et glace normalement prévue sur les surfaces protégées avant la mise en marche du dispositif antigivrage ou pendant le fonctionnement du système de dégivrage.

La rubrique Procédures présente également une liste des éléments qui ont été jugés importants dans les programmes de certification antérieurs. Voici quelques-uns de ces éléments :

- la démonstration de la présence d'un avertissement de décrochage adéquat avant l'apparition des caractéristiques de décrochage;

- la préparation de limites d'utilisation ou de procédures pour tous les systèmes concernés en cas d'évolution dans des conditions givrantes (p. ex. pilote automatique).

Même si au cours d'essais de certification avec du givre artificiel, il avait été établi que l'avion avait démontré un tremblement suffisant annonçant l'imminence du décrochage, l'équipage de conduite du C-GEJE n'a entendu aucun klaxon annonçant l'imminence du décrochage et n'a remarqué aucun tremblement avant le décrochage. L'avion a décroché à 98 noeuds, vitesse bien supérieure à la vitesse de décrochage calculée de 84 noeuds avec les volets en position d'approche et au ralenti de vol, et à une vitesse bien supérieure à la vitesse de décrochage prévue de 93 noeuds après l'ajout des 9 noeuds pour tenir compte de l'accumulations de givre.

1.9.2 Procédures de fonctionnement des boudins de dégivrage

La procédure recommandée dans le manuel de vol du Raytheon B300 pour un dégivrage des plus efficaces consiste à laisser se former un givrage épais d'au moins 0,5 pouce avant d'actionner les boudins. Cette procédure vise à maximiser l'efficacité de l'équipement pneumatique de dégivrage en réduisant la quantité de givre résiduel et la possibilité d'accumulation d'un pontage de glace (*ice bridging*), phénomène par lequel il y a formation de glace au-dessus du prolongateur le plus éloigné des tubes des boudins et qui survenait avec les anciens boudins qui n'étaient pas assez puissants pour déloger complètement la glace. Les boudins de dégivrage modernes, comme ceux installés sur le C-GEJE, sont caractérisés par des tubes à segments courts de faible diamètre actionnés à des pressions relativement élevées et ils permettent des cycles de gonflage et de dégonflage relativement rapides. Depuis le milieu des années 1990, des recherches ont permis d'établir que les boudins de dégivrage modernes sont efficaces pour déloger la glace et pour empêcher toute accumulation de pontage de glace. Il n'y a pas d'accumulation de pontage de glace parce que l'épaisseur du givre résiduel qui n'est pas délogé après le premier cycle des boudins continue d'augmenter et que le givre ainsi accumulé est délogé au cours des cycles ultérieurs.

Le 15 juin 1999, l’Aviation commerciale et d’affaires de Transports Canada a publié la circulaire d’information n˚ 0130R pour informer les destinataires des révisions apportées au document d’orientation en matière de formation concernant le givrage en vol. On a révisé la documentation d’orientation afin d’y inclure de nouveaux renseignements obtenus à l’issue d’enquêtes sur de récents accidents ayant révélé que le givrage en vol avait été un facteur contributif. On a avisé les exploitants aériens qu’ils devaient modifier leurs programmes de formation, afin d’y inclure ces nouveaux renseignements avant le 1er octobre 1999. La section intitulée « Utilisation opérationnelle du dégivreur pneumatique » stipule ce qui suit :

> Les pilotes d’avions munis d’un dégivreur pneumatique trouveront dans l’AFM [manuel de vol] des directives sur l’utilisation opérationnelle des boudins de dégivrage. Dans la plupart des cas, l’AFM demande aux pilotes de retarder la mise en marche des boudins de dégivrage, que ce soit en mode manuel ou automatique (selon le cas), jusqu’à ce qu’une couche de glace de ¼ po à 1 po d’épaisseur se soit formée sur le bord d’attaque des ailes. Comme nous l’avons mentionné ci-dessus, cette directive est pratiquement toujours incluse afin de prévenir l’accumulation de glace. Dans son rapport sur l’accident mortel impliquant un EMB-120 de Comair en janvier 1997, le National Transportation Safety Board (NTSB) a conclu qu’une petite quantité de glace rugueuse s’était formée sur l’aile comme l’avion ralentissait pour adopter une configuration d’approche, et que cette petite quantité avait été suffisante pour faire décrocher l’appareil inopinément quand la vitesse diminuait. En conséquence, le NTSB recommande que pour les avions modernes à turbopropulseurs :
>
> (…) les boudins de dégivrage du bord d’attaque devraient être actionnés dès que l’avion se retrouve dans des conditions de givrage parce que l’accumulation de glace ne se pose pas pour de tels avions et qu’une petite quantité de glace rugueuse peut être extrêmement dangereuse. [Traduction]
>
> À moins que l’AFM ne l’interdise précisément, il est recommandé que les pilotes d’avions à turbine munis d’un dégivreur pneumatique avec cycle automatique actionnent les boudins de dégivrage en mode automatique aussitôt que l’avion entre dans des conditions de givrage. Les boudins de dégivrage devraient demeurer en marche jusqu’à ce que l’avion soit sorti des conditions de givrage. Si le cycle automatique peut être réglé en position RAPIDE ou LENTE, on devrait choisir l’option RAPIDE dans des conditions de givrage modéré ou fort.

La circulaire d’information de Transports Canada ne traitait pas du fonctionnement des boudins de dégivrage sur les avions ne possédant pas de cycle automatique, comme le C-GEJE.

1.9.3 Utilisation du pilote automatique dans des conditions givrantes

L'utilisation du pilote automatique dans des conditions givrantes peut masquer les effets du givrage de la cellule et contribuer à une perte de maîtrise. Le pilote automatique peut masquer des forces importantes sur les commandes ou compenser l'avion jusqu'au point de décrochage, puis se débrancher brusquement au moment où l'avion est sur le point de décrocher. La circulaire d'information n° 0130R de Transports Canada contient un passage sur la surveillance du pilote automatique dans des conditions de givrage. La circulaire précise ce qui suit :

> Il est fortement recommandé que les pilotes débraient le pilote automatique et pilotent l'avion manuellement lorsqu'ils volent dans des conditions de givrage. Si cela n'est pas désirable pour des raisons de sécurité, telles que trop de travail au poste de pilotage ou lors d'opérations avec un seul pilote à bord, les pilotes devraient surveiller de près le pilote automatique. Cela peut se faire en débrayant fréquemment le pilote automatique tout en tenant fermement le volant de commande. Le pilote devrait alors pouvoir sentir tout changement d'assiette et être mieux en mesure d'évaluer l'effet de toute accumulation de glace sur la performance de l'avion.

L'article 1.21 des SOP de la compagnie sur l'utilisation du pilote automatique stipule ce qui suit :

> [Traduction]
> Utilisation du pilote automatique : on encourage les équipages à utiliser au maximum le pilote automatique de l'appareil. Dans la mesure du possible, on doit effectuer des approches « couplées » en respectant les restrictions figurant dans l'AFM. Une annonce *Autopilot ON/OFF* (pilote automatique MARCHE/ARRÊT) doit être faite par le PF, et le PNF doit y répondre.

1.10 Renseignements additionnels

1.10.1 Avertissement de basse vitesse

De nombreux accidents et incidents sont survenus à des aéronefs commerciaux parce que l'équipage de conduite n'a pu maintenir une vitesse suffisante. Le BST et son prédécesseur, le Bureau canadien de la sécurité aérienne, ont enquêté sur au moins huit accidents liés au vol dans des conditions givrantes. Dans certains cas, l'impossibilité de maintenir une vitesse suffisante a donné lieu à des catastrophes (perte de maîtrise et impact avec le relief). Le NTSB et d'autres bureaux d'enquête ont également fait des enquêtes sur de nombreux événements où le décrochage ou l'impossibilité de maintenir une vitesse suffisante ont été identifiés comme facteur causal ou comme facteur contributif. L'annexe E relate trois accidents de ce genre impliquant des problèmes de sécurité semblables à ceux identifiés dans le présent incident.

Des études[14] ont permis d'établir que, même si l'équipage de conduite surveille les systèmes automatiques de l'avion, il se peut que les pilotes ne soient pas conscients du niveau d'énergie de l'avion, en particulier lorsque l'avion s'approche d'un niveau d'énergie faible ou tend vers un tel niveau. Ces études démontrent que les équipages de conduite doivent être alertés avant que l'avion n'atteigne un niveau d'énergie faible et potentiellement dangereux.

Les fonctions de l'avionique de pointe peuvent permettre d'élaborer et d'installer des dispositifs avertisseurs de basse vitesse sur de nombreux types d'aéronefs modernes. On a mis au point un dispositif avertisseur de basse vitesse pour l'Embraer 120, et l'installation de ce dispositif a été rendue obligatoire par la consigne de navigabilité AD 2001-20-17 de la FAA. Ce dispositif est conçu pour alerter les équipages de conduite dans les situations de basse vitesse dans certaines configurations ainsi que dans les conditions de givrage. Plusieurs fabricants de matériel avionique offrent des dispositifs avertisseurs de basse vitesse associés aux vitesses d'approche et de manoeuvre pour une utilisation sur des aéronefs de l'aviation générale moins perfectionnés. Il est possible de mettre au point des dispositifs avertisseurs de basse vitesse pour la plupart des types d'avion.

---

14 Human Factors Team, Federal Aviation Administration, *The Interfaces Between Flight Crews and Modern Flight Deck Systems* (Interfaces entre les équipages de conduite et les systèmes modernes des postes de pilotage), 1996.

2.0 Analyse

2.1 Généralités

Les membres de l'équipage de conduite possédaient les licences et les qualifications nécessaires au vol, mais leur formation était insuffisante dans certains domaines. L'avion était certifié pour le vol dans des conditions de givrage connues, mais des avertissements de décrochage et de basse vitesse insuffisants ont joué un rôle dans l'accident. L'analyse qui suit porte sur les mesures et les décisions prises par l'équipage de conduite, sur la nécessité d'une formation plus complète des équipages de conduite ainsi que sur la nécessité d'avoir des avertisseurs de décrochage et des dispositifs avertisseurs de basse vitesse plus efficaces.

2.2 Mesures et décisions prises par l'équipage de conduite

Pendant la descente vers Timmins, lorsque l'avion est entré dans les nuages et s'est mis à accumuler un léger givre blanc, puis une combinaison de givre transparent et blanc d'intensité modérée, l'équipage de conduite entrait dans une phase de vol critique chargée. L'avion se trouvait à environ deux minutes et demie du repère d'approche initiale, et il y avait une accumulation de givre à des endroits inhabituels sur l'avion, sur les fuseaux moteurs par exemple. Malgré l'accumulation de givre, l'équipage n'a pas envisagé de modifier la vitesse d'approche, ni la configuration de l'avion, ni le pilote automatique. L'équipage savait que la vitesse minimale dans des conditions soutenues de givrage est de 140 noeuds, mais il n'a pas considéré que cette limite de vitesse s'appliquait pendant la phase d'approche finale du vol; c'est pourquoi il avait prévu effectuer l'approche à la vitesse normale d'approche de 125 noeuds.

L'équipage concentrait son attention sur l'accumulation de givre sur la cellule et sur les bords d'attaque des ailes, au lieu de surveiller l'approche et les performances de l'avion. L'équipage n'a donc pas mis le pilote automatique en mode d'approche, et le pilote automatique est resté en mode FMS et maintien d'altitude. Même si la fréquence ILS avait été sélectionnée et que l'alignement de piste et l'alignement de descente étaient utilisables, l'équipage n'a pas remarqué que le pilote automatique n'était pas réglé pour suivre le guidage. Juste avant le NDB de Sandy Falls, au moment de la sortie du train d'atterrissage, l'équipage a réduit la puissance moteur car il s'attendait à ce que l'avion descende sur l'alignement de descente. Ni le PF ni le PNF ne surveillait les instruments de vol, et ni l'un ni l'autre n'a remarqué que l'avion demeurait en palier à 2700 pieds asl et que la vitesse diminuait. Du fait d'une mauvaise gestion des ressources de l'équipage et d'une mauvaise répartition des tâches dans le poste de pilotage pendant une phase de vol chargée, des paramètres de vol critiques n'ont pas été surveillés.

Aucun des membres d'équipage n'a jugé que les conditions de vol étaient des conditions de givrage fort. L'équipage a toutefois noté une accumulation de givre en des endroits inhabituels, comme les fuseaux moteurs. D'après la section du manuel de vol traitant des limites, il s'agit de

l'un des nombreux indices visuels du givrage fort. Le manuel de vol mentionne également que l'utilisation du pilote automatique est interdite lorsqu'on observe l'un des indices visuels mentionnés. Comme ils avaient suivi une formation récente sur la contamination des surfaces et le givrage en vol, les deux pilotes devaient connaître le passage de la circulaire d'information n° 130R de Transports Canada qui stipule que : « il est fortement recommandé que les pilotes débraient le pilote automatique et pilotent l'avion manuellement lorsqu'ils volent dans des conditions de givrage. »

Lors du vol de l'incident, le pilote automatique a fonctionné comme prévu; il a maintenu l'altitude sélectionnée et a compensé l'avion jusqu'à la position plein cabré lorsque la vitesse a diminué à 98 noeuds. Le pilote automatique étant embrayé, l'équipage de conduite a remarqué tardivement l'augmentation de l'angle d'attaque et de la compensation en cabré et n'a pu éviter le décrochage. Si l'avion avait été en pilotage manuel, les pilotes auraient sans doute eu plus de facilité à comprendre ce qui se passait et auraient remarqué la diminution de vitesse assez tôt pour prendre des mesures correctives. Comme les membres de l'équipage de conduite n'ont pas jugé que les conditions de vol étaient des conditions de givrage fort, la décision d'effectuer l'approche avec le pilote automatique embrayé n'était pas contraire au manuel de vol. En fait, l'utilisation du pilote automatique était conforme aux SOP de la compagnie.

2.3 Formation de l'équipage de conduite

2.3.1 Formation sur simulateur

Les exercices pour apprendre à reconnaître l'imminence du décrochage et à faire une sortie de décrochage se font souvent exclusivement en simulateur, et la sortie de décrochage se fait généralement au premier signe de décrochage. Ce premier signe est habituellement le dispositif artificiel avertisseur de décrochage qui se déclenche à au moins 5 noeuds au-dessus de la vitesse de décrochage. Ce type d'exercice ne permet pas au pilote de voir toutes les caractéristiques de décrochage de l'avion, comme le tremblement perceptible, le battement des ailes ou la tendance de l'aile à l'enfoncement. Avec ce type d'exercice, il arrive que le pilote n'ait jamais l'occasion de faire une sortie de décrochage complète.

Même si les équipages de conduite suivent une formation au sol obligatoire sur le givrage en vol, la formation en simulateur au vol dans des conditions de givrage réelles est limitée. Les variations des caractéristiques de décrochage de l'avion en fonction de l'accumulation de givre, notamment l'augmentation de la vitesse de décrochage et l'imminence du décrochage avant le déclenchement de l'avertisseur de décrochage, ne sont habituellement pas reproduites lors des séances. De plus, il est difficile de reproduire les variations des symptômes normaux de décrochage, comme le tremblement ou la tendance accrue de l'aile à l'enfoncement. Le pilote qui n'a pas fait l'expérience de ces symptômes de décrochage peut avoir du mal à reconnaître les symptômes de décrochage d'une aile contaminée. De plus, il se peut qu'il ne sache pas qu'un

décrochage lié au givrage exige une technique de sortie plus agressive qui demande qu'on abaisse le nez de l'avion de façon plus agressive (si l'altitude est suffisante) pour réduire l'angle d'attaque et augmenter la vitesse.

L'avertisseur de décrochage du C-GEJE ne s'est pas fait entendre, que ce soit avant ou pendant le décrochage. L'équipage de conduite n'a perçu aucun tremblement ni aucun autre symptôme de décrochage imminent. Lorsque l'avion a décroché, le PF a bien réagi en abaissant aussitôt le nez de l'avion de façon agressive pour réduire l'angle d'attaque et augmenter rapidement la vitesse. La perte d'altitude de 850 pieds qui a suivi n'était pas un phénomène exceptionnel pour une sortie de décrochage, mais la perte d'altitude aurait été moins importante si le PF n'avait pas cessé momentanément de tirer sur le manche lorsque l'avion se trouvait dans un piqué à 30 °. Des exercices de décrochage complets, dans un environnement contrôlé, peuvent aider les équipages de conduite à reconnaître les symptômes du décrochage, comme le tremblement.

On peut programmer la majeure partie des simulateurs évolués avec des données d'essais en vol pour simuler le comportement de l'aéronef avant et après le décrochage. Le BST reconnaît que la formation sur simulateur est coûteuse et que les concepteurs de cours doivent établir un équilibre entre les exercices et la probabilité que les équipages de conduite auront à utiliser les techniques apprises sur simulateur. La simulation de scénarios de givrage en vol ayant mené à un accident ou à un incident grave de décrochage ou à une perte de maîtrise pourrait permettre aux équipages de conduite d'apprendre à composer avec des conditions de givrage réelles, et leur permettre de mieux comprendre les dangers du vol dans des conditions givrantes. On pourrait réduire le nombre de décrochages dans des conditions givrantes en insistant sur l'activation précoce et fréquente des boudins de dégivrage, sur le pilotage manuel de l'avion en cas de conditions de givrage, sur le maintien de la vitesse à une valeur égale ou supérieure aux vitesses de pénétration dans du givre et sur la sortie des conditions de givrage le plus rapidement possible.

2.3.2 Formation en gestion des ressources de l'équipage

Une gestion efficace des ressources de l'équipage est essentielle pour voler en toute sécurité. Outre la formation CRM qu'avaient reçue les membres d'équipage pendant leur formation sur type à la FSI, aucun des pilotes n'avait suivi une formation CRM officielle récente. La formation CRM donnée par la FSI n'est que l'un des nombreux sujets traités dans la partie formation au sol du cours. Ce type de formation CRM peut constituer un cours de mise à jour intéressant, mais il ne saurait remplacer un cours CRM spécialisé complet. Certains aspects de la CRM sont traités dans l'article 724.115, Programme de formation, de la Partie VII des normes du RAC, mais il n'est pas nécessaire de suivre un cours CRM spécialisé. À moins qu'un exploitant visé à la sous-partie 704 n'inclue volontairement une formation CRM officielle dans son plan de formation, la formation CRM demeure une formation complémentaire pour les équipages de conduite.

L'équipage de conduite n'a pas discuté des procédures à suivre pour effectuer l'approche dans des conditions de givrage, que ce soit avant ou pendant l'approche. Il n'y a eu aucune discussion sur les limites de l'avion, l'utilisation du pilote automatique dans des conditions givrantes ou les indices visuels de givrage fort. En raison d'une mauvaise gestion de la charge de travail pendant une phase de vol chargée, des paramètres de vol critiques n'ont pas été surveillés par les membres d'équipage. Dans l'ensemble, l'équipage n'a pas fait une utilisation efficace des techniques CRM pendant l'approche.

2.3.3 Formation sur les tâches de pilote non aux commandes

Le PNF a un rôle important à jouer lorsqu'il fait partie d'un équipage de conduite composé de deux pilotes qui doivent s'acquitter de tâches importantes dans le poste de pilotage. Il est important que le PNF suive une formation spécifique sur le rôle de PNF pour se préparer à s'acquitter correctement de ces tâches. Il n'existe cependant aucune exigence réglementaire obligeant à donner une formation sur les tâches de PNF ni à évaluer le rendement du pilote comme PNF. Le PNF n'avait pas eu l'occasion d'agir comme PNF pendant sa formation initiale à la FSI, ce qui a probablement contribué à la répartition inefficace des tâches pendant l'approche. Au lieu de surveiller les instruments de vol primaires et d'aviser le PF dès le moindre écart à la vitesse et à la trajectoire de vol prévues, le PNF a probablement présumé que le PF surveillait les instruments de vol primaires et le pilote automatique. Il s'est ensuite concentré sur d'autres tâches dévolues au PNF, comme la sortie du train d'atterrissage, la vérification que le train est sorti et verrouillé ainsi que la vérification de l'accumulation de givre sur la cellule et sur le bord d'attaque des ailes.

2.4 Avertissement de décrochage

Les dispositifs avertisseurs de décrochage exigés en vertu de l'article 523.207 de la Partie V, Navigabilité, des normes du RAC sont censés fournir aux équipages de conduite un avertissement suffisant de l'imminence du décrochage. Cependant, lorsque l'avion vole dans des conditions de givrage où l'angle d'attaque de décrochage peut être réduit de façon importante, il arrive souvent que ces dispositifs ne fournissent pas un avertissement suffisant. Dans le cas qui nous occupe, l'avion a décroché sans avertissement et à une vitesse supérieure à la vitesse prévue avec une aile propre. L'avertisseur de décrochage n'a pas alerté les pilotes, car il n'était pas conçu pour tenir compte de la dégradation aérodynamique due à une accumulation de givre ni pour régler son avertissement de façon à compenser la réduction de l'angle d'attaque de décrochage provoquée par l'accumulation de givre. Cette situation dangereuse n'est pas propre au King Air 350 et elle existe sur de nombreux autres aéronefs à turbopropulseur.

2.5 *Avertissement de basse vitesse*

Cet incident, entre autres, révèle que la vigilance de l'équipage de conduite et les avertissements de décrochage existants ne permettent pas toujours d'éviter les situations de basse vitesse. De plus, les situations de basse vitesse ne sont pas particulières au vol en pilotage automatique ni au vol dans des conditions givrantes. Les dispositifs avertisseurs de basse vitesse sont conçus pour alerter le pilote de la diminution de vitesse de l'aéronef pour qu'il prenne des mesures correctives pour empêcher l'avion de se mettre en décrochage. Un avertissement de basse vitesse, associé à la vitesse opérationnelle minimale acceptable pour une phase de vol donnée, permettrait aux équipages de conduite d'assurer la surveillance de la vitesse à peu près de la même façon que les avertisseurs d'altitude permettent aux équipages de conduite de surveiller l'altitude. Le nombre d'accidents et d'incidents liés à une vitesse insuffisante pour assurer la sustentation de l'appareil diminuerait nettement, si on développait des dispositifs avertisseurs de basse vitesse qui seraient rendus obligatoires.

L'enquête a donné lieu au rapport de laboratoire suivant :

LP 055/2004 - *FDR Analysis* (Analyse du FDR).

On peut obtenir ce rapport en s'adressant au Bureau de la sécurité des transports du Canada.

3.0 Conclusions

3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. Pendant l'approche, l'équipage de conduite n'a pas surveillé la vitesse qui a diminué jusqu'à ce que l'avion décroche.

2. En raison d'une accumulation de givre sur les surfaces critiques de vol pendant l'approche, l'avion a décroché à une vitesse supérieure à la normale pour cette configuration.

3. L'avertisseur de décrochage ne s'est pas déclenché, car il n'était pas conçu pour tenir compte de la dégradation aérodynamique due à une accumulation de givre, ni pour régler son avertissement de façon à compenser la réduction de l'angle d'attaque de décrochage provoquée par le givre.

4. Pendant l'approche, l'équipage n'a pas fait passer le pilote automatique du mode de maintien d'altitude au mode d'approche, et l'avion n'a pas intercepté la trajectoire de descente. Par conséquent, lorsque le pilote aux commandes a réduit la puissance en vue d'intercepter la trajectoire de descente, l'avion a décéléré et est demeuré en palier.

5. Comme l'avion était en pilotage automatique, l'équipage de conduite n'a remarqué aucun signe de décrochage imminent ni aucun signe de réduction de la vitesse, comme une augmentation du cabré, des changements d'assiette, une augmentation de l'angle d'attaque et des commandes molles.

6. L'équipage de conduite n'a pas considéré que la vitesse minimale de 140 noeuds dans des conditions soutenues de givrage s'appliquait à toutes les phases de vol, notamment l'approche et, par conséquent, il a décidé de faire l'approche à la vitesse normale d'approche de 125 noeuds.

7. Comme l'équipage de conduite n'a pas jugé que les conditions de vol étaient des conditions de givrage fort, il n'a pas pris les précautions mentionnées dans le manuel de vol de l'avion concernant le vol dans des conditions de givrage fort, comme demander au contrôle de la circulation aérienne (ATC) d'être traité en priorité en vue de sortir de ces conditions de givrage ou débrayer le pilote automatique.

8. L'équipage n'a pas fait une utilisation efficace des techniques de gestion des ressources de l'équipage (CRM) pendant l'approche : il n'y a eu aucune discussion sur les procédures à suivre pour effectuer l'approche dans des conditions de givrage, et certains paramètres de vol critiques n'ont pas été surveillés de façon efficace par les membres d'équipage.

3.2 Faits établis quant aux risques

1. Les deux membres d'équipage avaient reçu une formation CRM pendant leur formation sur type à la Flight Safety International, mais ils n'avaient pas suivi une formation CRM officielle récente. Comme le vol était effectué en vertu de la sous-partie 604 du *Règlement de l'aviation canadien* (RAC), aucune formation CRM particulière n'était requise, comme c'est le cas pour les vols effectués en vertu de la sous-partie 704 du RAC.

2. Pendant sa formation initiale sur type à la Flight Safety International, le copilote (le pilote non aux commandes ou PNF) n'avait reçu aucune formation spécifique sur le rôle et les tâches de PNF, et il n'existe aucune exigence réglementaire à cet égard.

3. Habituellement, les pilotes ne suivent qu'une formation limitée au décrochage où ils font des exercices de décrochage pour apprendre à reconnaître les symptômes du décrochage et à faire une sortie de décrochage au premier signe de décrochage. Ce type d'exercice ne permet pas au pilote d'apprendre à reconnaître facilement les symptômes du décrochage, comme le tremblement, ni d'apprendre à faire une sortie de décrochage en cas de décrochage aérodynamique total.

4. Habituellement, la formation des équipages de conduite au vol dans des conditions givrantes se limite à la familiarisation avec l'équipement d'antigivrage et de dégivrage ainsi qu'à la formation sur simulateur, et cette formation est limitée pour ce qui est de l'entraînement dans des conditions de givrage réelles.

5. Des consignes inappropriées sur l'utilisation des boudins de dégivrage peuvent donner lieu à une utilisation inadéquate des boudins.

6. Des consignes incohérentes sur l'utilisation du pilote automatique dans des conditions givrantes peuvent donner lieu à l'utilisation du pilote automatique dans des conditions où le pilotage manuel augmenterait les chances du pilote de reconnaître l'imminence du décrochage.

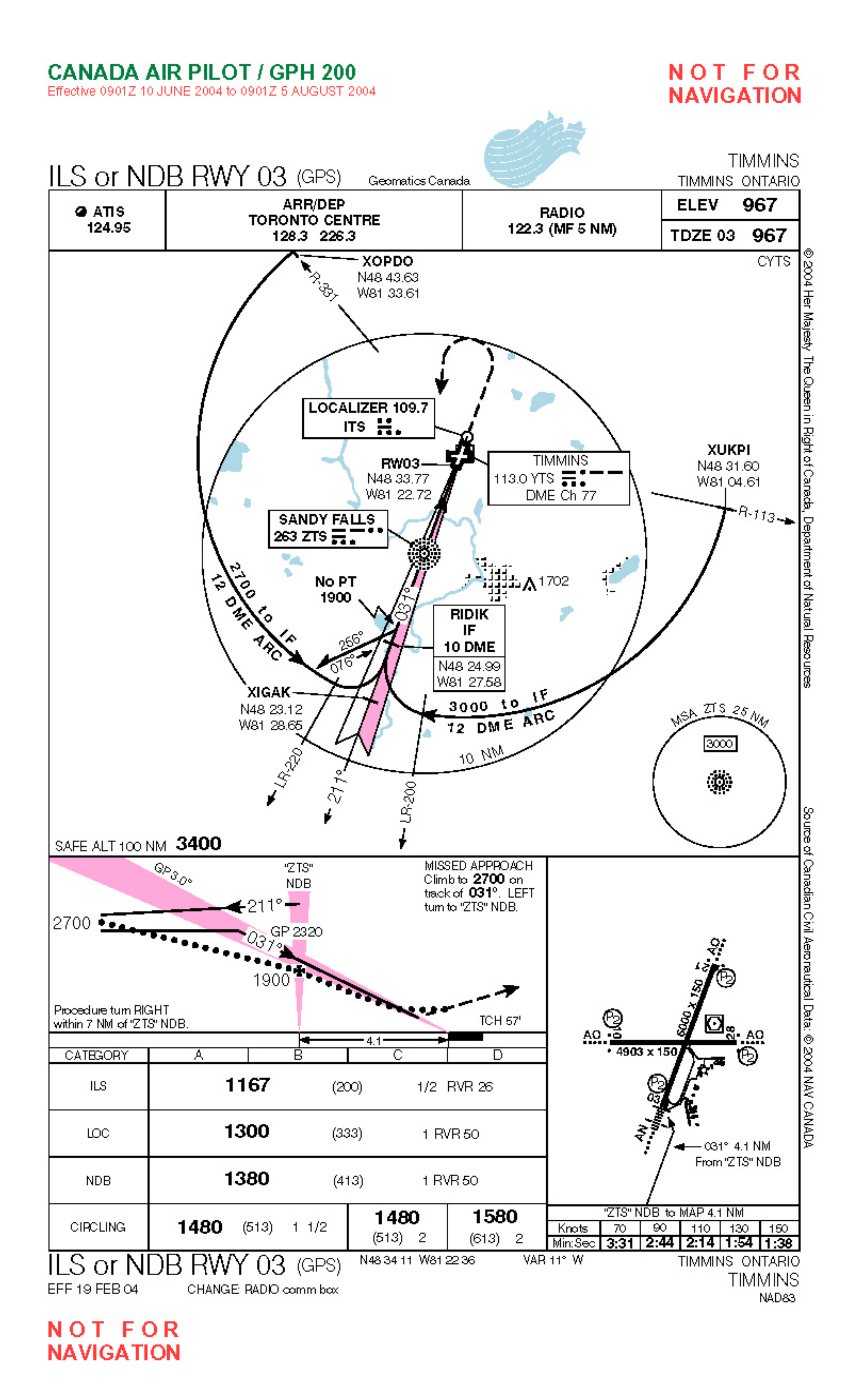
7. Habituellement, les avions comme le Raytheon B300 ne sont pas équipés d'un dispositif avertisseur de basse vitesse.

Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 2 novembre 2005.

*Visitez le site Web du BST (**www.bst.gc.ca**) pour plus d'information sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également des liens vers d'autres organismes de sécurité et des sites connexes.*

Annexe A – ILS ou NDB - Piste 03 (GPS) Timmins

(Ce document n'existe pas en français.)



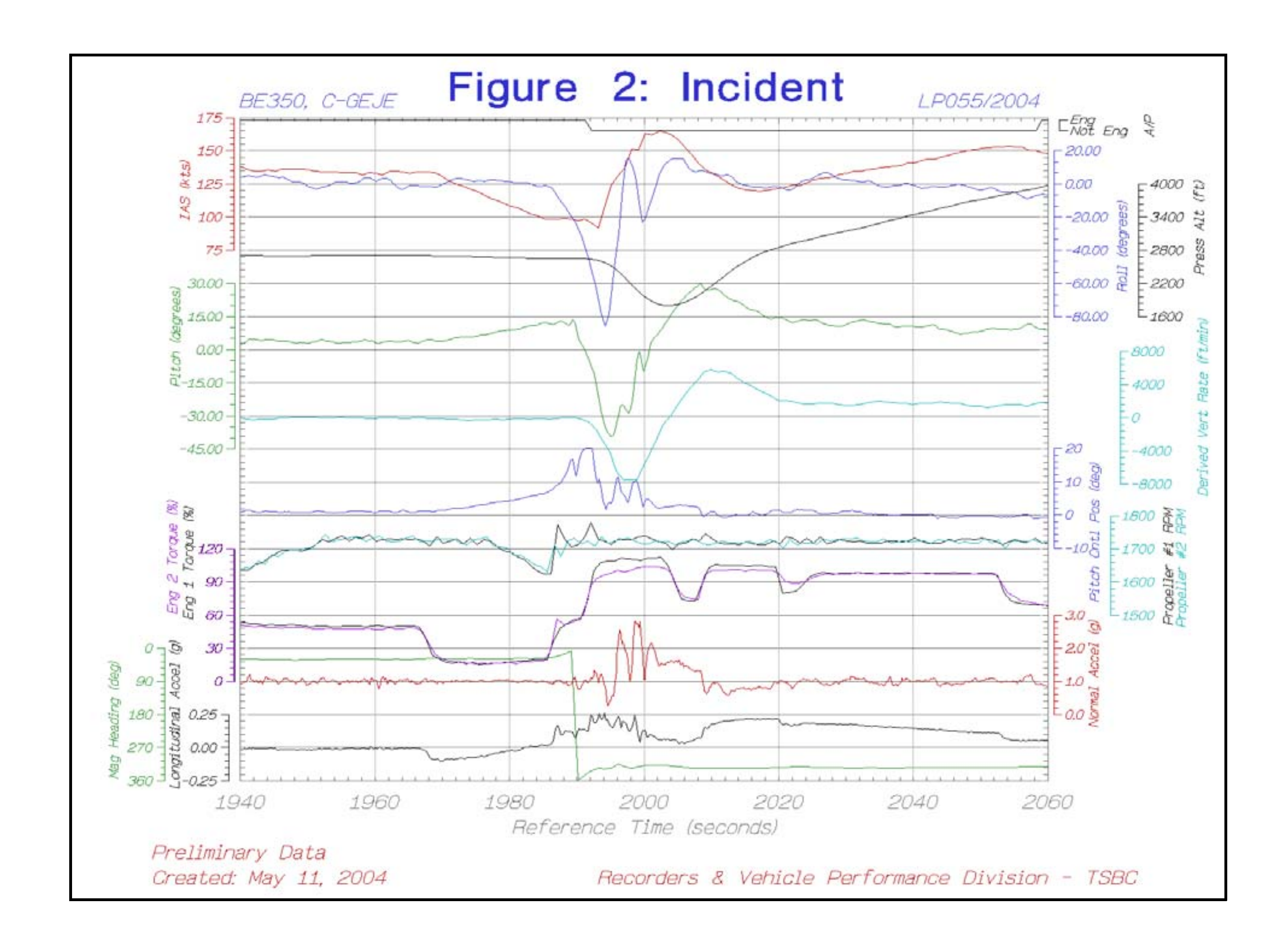
CATEGORY	A	B	C	D
ILS	1167	(200)	1/2 RVR 26	
LOC	1300	(333)	1 RVR 50	
NDB	1380	(413)	1 RVR 50	
CIRCLING	1480 (513) 1 1/2		1480 (513) 2	1580 (613) 2

"ZTS" NDB to MAP 4.1 NM

Knots	70	90	110	130	150
Min:Sec	3:31	2:44	2:14	1:54	1:38

Annexe B – Courbes FDR

(*Ce document n'existe pas en français*.)



Annexe C – Renseignements météorologiques

Le message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) de 6 h pour Timmins, publié environ 20 minutes avant le décollage à Earlton (Ontario), faisait état des conditions suivantes :

> Vent du 330 °V à 8 noeuds avec des rafales à 18 noeuds, visibilité de 10 sm dans de la neige légère, nuages fragmentés à 500 pieds agl et couvert nuageux à 1500 pieds agl; température de -4 °C et point de rosée de -7 °C; plafond déchiqueté.

Les prévisions d'aérodrome (TAF) pour Timmins, publiées le 22 avril 2004 à 1 h 29 et valides de 2 h à 14 h, faisaient état des conditions suivantes :

> Vent du 330 °V à 10 noeuds, visibilité de 6 sm, nuages épars à 400 pieds agl, couvert nuageux à 3000 pieds agl; entre 2 et 6 h, condition temporaire de visibilité de 3 sm dans des averses de neige légère et couvert nuageux à 400 pieds agl. Après 6 h, nuages épars à 800 pieds agl, nuages fragmentés à 2500 pieds agl; entre 6 et 11 h, temporairement nuageux à 800 pieds agl.

Des TAF modifiées, publiées à 6 h 4 et valides de 6 h à 14 h, faisaient état des conditions suivantes :

> Vent du 330 °V à 12 noeuds avec des rafales à 22 noeuds, visibilité de 6 sm, nuages épars à 500 pieds agl, couvert nuageux à 1500 pieds agl; entre 6 et 11 h, temporairement nuageux à 500 pieds agl.

Annexe D – Utilisation de l'avion dans des conditions givrantes

La consigne de navigabilité AD 98-04-24 intitulée *Operating in Severe Icing Conditions* exigeait l'ajout de texte au manuel de vol. Les passages suivants ont été extraits du texte qui a été ajouté à la section 2 du manuel de vol consacrée aux limites :

> [Traduction]
> AVERTISSEMENT. Le givrage fort peut être provoqué par des conditions environnementales différentes de celles pour lesquelles l'avion est certifié. Le vol dans des conditions de pluie verglaçante, de bruine verglaçante ou de givre transparent et de givre blanc combinés (eau surfondue sous forme liquide et cristaux de givre) peut donner lieu à une accumulation de givre sur des surfaces protégées qui dépasse les capacités du système de protection contre le givrage, ou provoquer la formation de givre derrière ces surfaces protégées. Il se peut que ce givre ne soit pas délogé par les systèmes de protection contre le givrage et qu'il occasionne une dégradation importante des performances de l'avion et de la pilotabilité.
>
> 1. Pendant le vol, des conditions de givrage fort qui dépassent celles pour lesquelles l'avion est certifié peuvent être décelées grâce aux indices visuels mentionnés ci-dessous. En présence de l'un ou plusieurs de ces indices visuels, il faut immédiatement demander au contrôle de la circulation aérienne d'être traité en priorité pour faciliter un changement de route ou d'altitude, afin de sortir des conditions de givrage.
>
>   a. Accumulation inhabituellement importante de givre sur la cellule et sur le pare-brise, à des endroits où l'on n'en voit généralement pas.
>
>   b. Accumulation de givre sur l'extrados des ailes, en arrière de la région protégée.
>
>   c. Accumulation de givre sur les fuseaux moteurs et sur les casseroles d'hélice, plus loin en arrière que ce qu'on observe normalement.
>
> 2. Étant donné que le pilote automatique, quand il est embrayé, risque de masquer des indices tactiles de dégradation des caractéristiques de manoeuvrabilité de l'avion, il est interdit d'utiliser le pilote automatique en présence de l'un des indices visuels mentionnés ci-dessus, ou en présence d'exigences inhabituelles de compensation latérale ou d'avertissements de compensation du pilote automatique, lorsque l'avion vole dans des conditions givrantes.

Dans les procédures en cas de situation anormale du manuel de vol, la section 3A consacrée aux conditions de givrage fort renferme un passage de la consigne de navigabilité AD 98-04-24 qui stipule que :

> [Traduction]
> Les conditions suivantes peuvent être favorables au givrage fort en vol :
>
> - pluie visible à des températures inférieures à la température ambiante de 0 °C;
> - gouttelettes qui éclaboussent ou qui s'étalent à l'impact à des températures inférieures à la température ambiante de 0 °C.
>
> Procédures de sortie d'un environnement de givrage fort :
>
> En présence de l'un ou plusieurs des indices visuels de givrage fort mentionnés à la section sur les limites, prendre les mesures suivantes :
>
> 1. Demander immédiatement au contrôle de la circulation aérienne (ATC) d'être traité en priorité.
> 2. Éviter toute manoeuvre brusque ou excessive qui pourrait aggraver les problèmes de maîtrise de l'avion.
> 3. Ne pas embrayer le pilote automatique.
> 4. Si le pilote automatique est embrayé, tenir fermement le volant et débrayer le pilote automatique.
> 5. En cas de réponse en roulis inhabituelle ou d'un mouvement de roulis intempestif, réduire l'angle d'attaque.
> 6. En attente dans des conditions de givrage, ne pas sortir les volets. Le vol avec volets sortis peut réduire l'angle d'attaque des ailes et provoquer la formation de givre sur l'extrados des ailes, plus loin en arrière que ce qu'on observe normalement, en arrière de la région protégée.
> 7. Si les volets sont sortis, ne pas les rentrer tant que la cellule n'est pas exempte de givre.
> 8. Signaler ces conditions météorologiques à l'ATC.

Annexe E – Accidents similaires

Écrasement d'un King Air A100 le 25 octobre 2002 à Eveleth, au Minnesota, aux États-Unis

Le 25 octobre 2002, un Raytheon King Air A100 s'est écrasé lors d'une approche aux instruments en IMC (conditions de vol aux instruments), à Eveleth (Minnesota) aux États-Unis. L'enquête du National Transportation Safety Board (NTSB) a permis d'établir que, selon toute vraisemblance, l'équipage n'a pas maintenu une vitesse suffisante, ce qui a provoqué un décrochage aérodynamique, et l'équipage n'a pas réussi à reprendre la maîtrise de l'appareil. Le NTSB a également établi que l'équipage de conduite n'a pas suivi les procédures d'approche de la compagnie et qu'il n'a pas fait une utilisation efficace des techniques de gestion des ressources de l'équipage (CRM) pendant l'approche. Le NTSB a indiqué que même si les normes de navigabilité en vigueur exigent que l'avion soit équipé d'un avertisseur de décrochage conçu pour faire entendre un avertissement de décrochage clair et distinct à une vitesse d'au moins 5 noeuds au-dessus de la vitesse de décrochage, les avertissements de décrochage ne parviennent pas toujours à alerter à temps l'équipage de conduite de l'imminence d'une situation de basse vitesse dangereuse.

Décrochage d'un Saab 340A le 11 novembre 1998, à Eildon Weir, en Australie

Le 11 novembre 1998, un Saab 340A qui entrait dans le circuit d'attente au-dessus d'Eildon Weir (Australie) a décroché et a perdu 2300 pieds d'altitude avant que l'équipage reprenne la maîtrise de l'appareil. L'avion volait en IMC et avait accumulé du givre. L'enquête de l'Australian Transport Safety Bureau a permis d'établir que l'équipage avait laissé la vitesse de l'avion diminuer sous la vitesse d'attente publiée et que l'avertisseur de décrochage ne s'était pas déclenché. De plus, l'équipage avait jugé les dépôts de givre inférieurs à ceux qui nécessitent l'activation du système de dégivrage des ailes et qui sont mentionnés dans le manuel de vol. Au moment de l'incident, le manuel de vol recommandait d'actionner les boudins de dégivrage s'il y avait une accumulation de givre d'environ un demi-pouce d'épaisseur sur les bords d'attaque des ailes. En octobre 1999, Saab Aircraft a modifié le manuel de vol en y ajoutant une exigence obligeant à actionner les boudins de dégivrage en mode continu au premier signe d'accumulation de givre.

L'enquête de l'Australian Transport Safety Bureau a permis d'établir que même si au moment de l'incident le Saab 340 était certifié conformément aux normes, il a pu, lorsqu'il volait dans des conditions de givrage, se mettre en décrochage aérodynamique sans que les avertissements nécessaires ne soient fournis à l'équipage de conduite. Ce problème avait été mis au jour lors de la mise en exploitation de l'avion au Canada, et on avait exigé une modification de l'avertisseur de décrochage sur les Saab 340 exploités au Canada. L'activation d'un sélecteur de vitesse de givrage par l'équipage de conduite fait que le calculateur de l'avertisseur de décrochage fonctionne à des angles d'attaque plus faibles. Cette modification n'avait pas été apportée aux autres Saab 340 exploités à l'étranger. L'Australian Transport Safety Bureau a établi que si l'avion avait été équipé d'un tel dispositif et s'il avait été activé, le dispositif aurait alerté l'équipage 10 à 18 secondes avant l'imminence du décrochage.

Écrasement d'un Embraer-120RT le 9 janvier 1997 à Monroe, au Michigan, aux États-Unis

Le 9 janvier 1997, un Embraer EMB-120RT, exploité par Comair Airlines, avec à son bord 3 membres d'équipage et 26 passagers s'est écrasé près de Monroe (Michigan) aux États-Unis pendant une descente rapide, à la suite d'un mouvement non sollicité des ailerons. Il n'y a eu aucun survivant. Des conditions IMC prévalaient au moment de l'accident. L'enquête du NTSB a permis d'établir qu'avant la descente rapide, la descente s'était déroulée dans des conditions givrantes. L'avion avait probablement accumulé progressivement une mince couche raboteuse de verglas ainsi que du givre transparent et du givre blanc sur les surfaces des boudins de dégivrage des bords d'attaque, et il y avait peut-être eu formation d'une crête de glace sur l'extrados des bords d'attaque. Il se peut que l'accumulation de givre ait été imperceptible par les pilotes. Les consignes de Comair Airlines stipulaient que les pilotes devaient retarder l'activation des boudins de dégivrage des bords d'attaque jusqu'à ce qu'ils observent une accumulation de givre d'une épaisseur de un quart à un demi-pouce, et ce, même si la révision 43 du manuel de vol de l'EMB-120 d'Embraer approuvée par la Federal Aviation Administration mentionne que les pilotes doivent actionner les boudins de dégivrage des bords d'attaque au premier signe d'accumulation de givre. Le NTSB a conclu que les pilotes n'avaient pas activé les boudins de dégivrage des bords d'attaque pendant la descente, probablement parce qu'ils n'ont pas observé qu'il y avait une accumulation importante de givre sur la structure de l'avion. Les pilotes avaient cependant actionné le réchauffage pare-brise et le système de dégivrage des hélices, conformément aux consignes qui stipulent d'actionner les systèmes d'antigivrage avant de voler dans des conditions de givrage connues.

Le rapport du NTSB se penche sur les questions de sécurité suivantes : les procédures d'utilisation des systèmes de protection contre le givrage; les renseignements sur la vitesse et la configuration des volets; les capacités de l'avertisseur de décrochage et du système de protection contre le décrochage; l'utilisation du pilote automatique dans des conditions givrantes; les exigences en matière de certification pour le vol dans des conditions givrantes; la recherche sur le givrage.

Annexe F – Sigles et abréviations

AFM	manuel de vol
agl	au-dessus du sol
A.I.P. Canada	*Publication d'information aéronautique*
AMA	circulaire consultative au Manuel de navigabilité
AMORTS	de l'anglais *Approach, Minima, Overshoot, Radios, Timing, Speeds and Supplementary Remarks* (Approche, minima, remise des gaz, radios, chronométrage, vitesses et remarques supplémentaires)
asl	au-dessus du niveau de la mer
ATC	contrôle de la circulation aérienne
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
CRM	gestion des ressources de l'équipage
FAA	Federal Aviation Administration
FDR	enregistreur de données de vol
FMS	système de gestion de vol
FSI	Flight Safety International
g	facteur de charge
GPS	système de positionnement mondial
h	heure
HAE	heure avancée de l'Est
ILS	système d'atterrissage aux instruments
IMC	conditions météorologiques de vol aux instruments
METAR	message d'observation météorologique régulière pour l'aviation
NDB	radiophare non directionnel
NTSB	National Transportation Safety Board
PF	pilote aux commandes
PIREP	rapport météo de pilote
PNF	pilote non aux commandes
RAC	*Règlement de l'aviation canadien*
sm	mille terrestre
SOP	procédures d'utilisation normalisées
TAF	prévisions d'aérodrome
°	degré
°V	degré vrai
%	pour cent